

Необходимым условием надежности задвижек запорной арматуры является обеспечение повышенных требований к точности формы и шероховатости уплотнительных поверхностей деталей. Для удовлетворения этих требований были разработаны процесс и необходимая технологическая оснастка доводки рабочих поверхностей. Особенность процесса заключается в применении специально разработанного абразивного инструмента, позволяющего обеспечивать качество обработки уплотнительных поверхностей для задвижек, работающих при давлении до 15 МПа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дорожкин, Н. Н. Электрошлаковая наплавка изношенных деталей неплавящимся электродом по слою легирующей шихты / Н. Н. Дорожкин, А. В. Дудан // Автоматическая сварка. – 1987. – № 3. – С. 64.

**УДК 621.039.546**

### **ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА ТВЭЛОВ**

**Д. В. Юшкевич, А. Д. Губко, И. Г. Олешук, И. Л. Поболь**  
*Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск*

*Изучена возможность электронно-лучевой сварки деталей тепловыделяющих элементов из сталей STS 410 и JIS S45C. Исследованы геометрия сварных швов, микроструктура и микротвердость сварных соединений.*

Одной из динамично развивающихся областей техники во всем мире является разработка и производство ядерных энергетических установок. Использование новых материалов и конструктивных решений будет способствовать повышению надежности, экологической безопасности и, как следствие, повышению конкурентоспособности продукции. В последнее время наметилась тенденция к переходу на новые виды топлива (с большим обогащением по  $^{235}\text{U}$  и МОХ-топливо), одновременно повышается удельная тепловая мощность ядерных реакторов, возрастают температурные и механические нагрузки на детали тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), ускоряются процессы коррозионного разрушения деталей, в том числе в области сварных соединений [1]. Поэтому актуальной является разработка новых технологических процессов получения неразъемных соединений из углеродистых и нержавеющей сталей, сплавов на основе циркония, используемых для изготовления ТВЭЛов.

В Физико-техническом институте изучена возможность электронно-лучевой сварки (ЭЛС) деталей тепловыделяющих элементов из сталей

STS 410 и JIS S45C (аналог AISI 1045), используемых для изготовления ТВЭ-Лов. На рисунке 1 представлена фотография трубки ТВЭЛа и заглушки до проведения ЭЛС.

Для получения сварных соединений использовали комплекс электронно-лучевого оборудования, разработанный на основе аппаратуры ЭЛА-15 (максимальная мощность луча при сварке 15 кВт, вакуум в рабочей камере  $10^{-3}$  Па). Для получения кольцевых швов была изготовлена специализированная оснастка с регулируемой скоростью вращения шпинделя.

Для исследования микроструктуры сварных соединений образцы подвергали шлифовке, полировке и травлению. Травление стали JIS S45C осуществляли 4-процентным раствором  $\text{HNO}_3$  в этиловом спирте, а стали STS 410 – реактивом Марбле (100 мл  $\text{HCl}$ , 20 г  $\text{CuSO}_4$ , 100 мл  $\text{H}_2\text{O}$ ). Исследования проводили на оптическом металлографическом микроскопе ММР с цифровой камерой ТКМ.

Измерение микротвердости осуществляли на поперечных шлифах образцов с помощью приборов ПМТ-3 в соответствии с ГОСТ 9450-76. Нагрузка на индентор составляла 100 г.

На рисунке 2 представлен внешний вид сварного соединения из сталей STS 410 JIS S45C. Глубина сварного шва составляет 1 – 1,5 мм, ширина шва в верхней части – около 2 мм. Трещины, поры, неметаллические включения в сварном шве и зоне термического влияния отсутствуют.

На рисунке 3 представлена микроструктура сталей JIS S45C (а) и STS 410 (б) при увеличении 400. Сталь JIS S45C (аналог стали 45Г) имеет мелкозернистую феррито-перлитную структуру, соответствующую 9 – 10 баллам по ГОСТ 5639-82 с микротвердостью 2 ГПа. Нержавеющая хромистая сталь STS 410 характеризуется мелкозернистой структурой сорбита с включениями карбидов. Микротвердость стали составляет 3,5 – 4,7 ГПа.

Микроструктура сварного шва, полученного с помощью электронно-лучевой сварки сталей JIS S45C и STS 410, показана

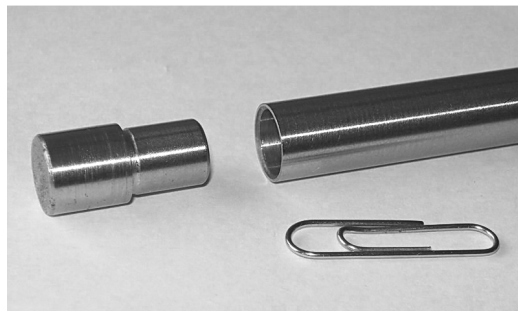


Рис. 1. Фотография заглушки и трубки твэла до сварки

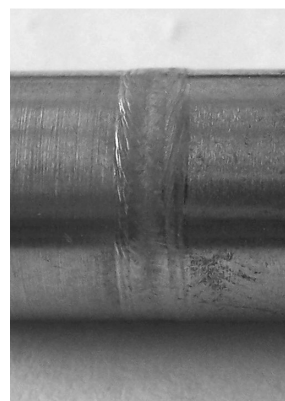


Рис. 2. Внешний вид сварного соединения из сталей STS 410 JIS S45C

на рисунке 4. Сварной шов имеет дендритную мартенситную структуру с микротвердостью 5,0 – 6,4 ГПа. Увеличение микротвердости металла сварного шва связано с образованием закалочных структур.

При переходе от границы сплавления к стали JIS S45C наблюдалась зона термического влияния (ЗТВ) шириной до 0,2 мм. Микротвердость в ЗТВ соответствовала значениям в основном металле, а размер зерна увеличился до 3 баллов по ГОСТ 5639-82.

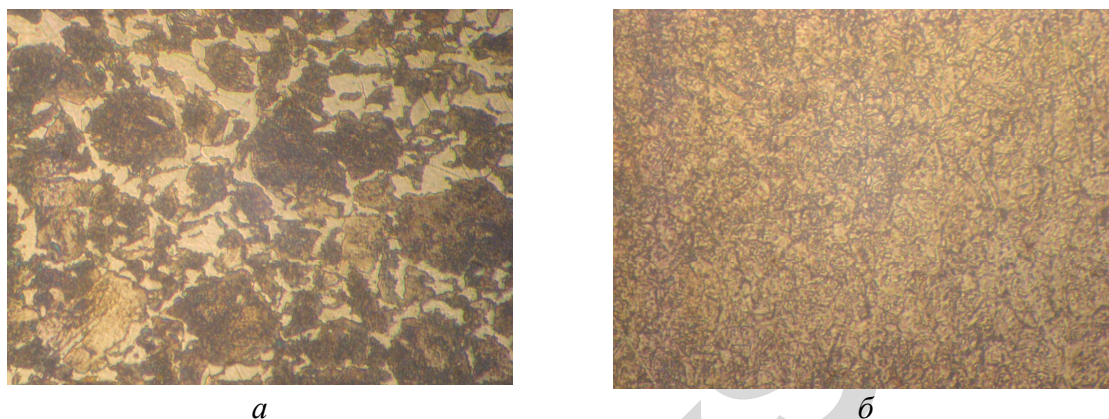


Рис. 3. Микроструктура сталей JIS S45C (а) и STS 410 (б)



Рис. 4. Микроструктура сварного шва, полученного с помощью электронно-лучевой сварки сталей JIS S45C и STS 410

Таким образом, металлографические исследования соединений, полученных из разнородных сталей (углеродистой и нержавеющей хромистой) с использованием электронно-лучевой сварки, показали, что в сварных швах образуется дендритная мартенситная структура с микротвердостью до 5,0-6,4 ГПа. Для снижения твердости металла шва необходимо применять предварительный подогрев деталей перед сваркой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бернар, П. Французский опыт и перспективы обращения с ОЯТ и РАО / П. Бернар // Безопасность окружающей среды. – 2010. – № 1. – С. 38 – 41.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ КАЗАНА ЧУГУННОГО В УСЛОВИЯХ ОАО «ТЕХНОЛИТПОЛОЦК»

А. А. Иванькович, А. Л. Лисовский

*Полоцкий государственный университет, Новополоцк*

*Приведены данные применения методики проектирования, с использованием методов математического моделирования кокиля казана чугунного на ОАО «ТехнолитПолоцк» с использованием САД и САЕ-систем, а также 3D-проектирования с моделированием полей температур и напряжений.*

Разработка систем автоматизированного проектирования кокильной оснастки на протяжении долгого времени остается одним из самых важных и в тоже время сложнейших вопросов литейного производства. От решения этого вопроса в значительной степени зависит уровень технологии и степень автоматизации процесса кокильного литья.

Математические методы позволяют с высокой долей вероятности предсказывать свойства будущей реальной отливки или оснастки, прогнозировать возможности образования тех или иных дефектов.

Анализ многочисленных научно-технических публикаций показывает, что на предприятиях литейного производства Республики Беларусь и стран СНГ при проектировании кокильной оснастки в значительной степени доминируют традиционные подходы, не использующие методы математического моделирования и опирающиеся на полуэмпирические методы расчета кокиля [1, 2]. В настоящее время для решения проблем проектирования кокильной оснастки предлагаются различные САД-системы, позволяющие повысить методы проектирования с использованием методов машинной графики. В тоже время известно, что разрабатываемая оснастка для кокиля должна учитывать особенности затвердевания отливки и процессы заполнения кокиля. Следует учитывать и процессы формирования напряжений как в кокиле, так и в отливке, при этом обычные САД-системы оказываются неэффективны [2].

Моделирующие системы не предназначены для генерации технологических параметров. Так или иначе, все параметры моделируемой технологии пользователь-технолог в качестве входных данных должен определить сам: полную геометрическую модель отливки и формы, параметры всех материалов, граничные и начальные условия, отражающие технологию, и т.д. Несмотря на то что физические характеристики материалов, без-